



空间物体交会风险指数模型 (2026-1)

<http://spacemapper.cn>

太空地图空间技术研发部

一、交会风险评估设计考量

2022 年以来，卫星数量爆炸式增长导致空间物体数量持续增加，近距离交会风险事件频率不断提高。现有的高精度交会风险评估方法需要结合轨道误差协方差等信息计算碰撞概率，但计算过程复杂、算力资源消耗很大。因此，在实际业务场景中应该先建立一种基于空间物体交会状态信息的快速风险识别方法，对潜在高风险交会事件进行初步筛查，为高精度轨道与协方差驱动的风险评估提供基础输入，实现由快速筛查到精细化评估的高效转向。

该方法遵循以下原则：

- 1、距离是交会风险的主要决定因素；
- 2、相对速度反映交会过程中的动态危险程度，对风险进行修正；
- 3、交会距离较近时，风险主要由空间距离决定；
- 4、交会距离较远时，通过速度因素增强不同交会事件之间的风险区分能力。

二、交会风险指数模型构建

针对上述需求，提出一种基于距离主导和速度修正思想的空间物体交会风险指数模型（Conjunction Risk Index, CRI）。

$$CRI = SD \times SV^{(1-SD)} \quad (2.1)$$

其中：

SD：距离风险因子。

SV：速度修正因子。

$1 - SD$ ：速度修正因子的调节系数。

2.1 距离风险因子

由于物体交会风险随着距离增加并非线性下降，往往具有小距离区域变化敏感，大距离区域变化平缓，所以我们采用指数衰减函数描述距离的影响。

$$SD = (1 - \alpha) + \alpha e^{-\frac{D}{\alpha}} \quad (2.2)$$

其中：

D：两颗物体最近交会时刻的交会距离（km）。

α ：距离衰减尺度参数，表示距离风险因子的衰减贡献比例。可根据实际情

况设置敏感距离。本模型取值 $\alpha = 0.8$ 。

α	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
敏感距离(km)	0.73	0.78	0.87	1.07	4.00

2.2 速度修正因子

$$SV = 1 + \frac{\ln(1+V)}{\ln(1+V_0)} \quad (2.3)$$

其中：

V ：两颗物体最近交会时刻的相对速度（km/s）。

V_0 ：速度归一化参数，用于描述空间物体交会最大参考速度范围，本模型取值 $V_0 = 15\text{km/s}$ 。

三、空间交会风险概率模型（Conjunction Risk Probability, CRP）

由于 CRI 是基于物体间交会距离和相对速度构建的无量纲风险指数，并不等同于基于轨道误差协方差计算得到的统计碰撞概率，因此定义：

$$CRP = 10^{(\beta \times CRI - \gamma)} \quad (3.1)$$

其中：

CRP 是空间物体交会风险指数 CRI 在无协方差条件下的概率等效表达，用于描述其对应的等效概率水平。

β ：风险指数敏感系数，控制 CRI 变化对概率结果的敏感程度，通过标定本模型取值 $\beta = 5$ 。

γ ：概率尺度偏移系数，调整概率范围，通过标定本模型取值 $\gamma = 7.75$ 。

四、CRI 与 CRP 映射关系

CRI	CRP
1.00	1.78E-03
0.95	1.00E-03
0.75	1.00E-04
0.55	1.00E-05
0.35	1.00E-06
0.20	1.78E-07

五、风险等级划分

根据 CRP 数值范围，将空间交会风险划分为五个等级：

CRP 范围	风险等级
$1.0E-03 \leq P$	极高风险
$1.0E-04 \leq P < 1.0E-03$	高风险
$1.0E-05 \leq P < 1.0E-04$	中风险
$1.0E-06 \leq P < 1.0E-05$	低风险
$P < 1.0E-06$	极低风险

根据空间物体交会风险评估相关实践，对于极高风险和高风险交会事件，应该开展精密轨道确定、误差协方差分析及高精度碰撞概率计算，并结合任务状态制定相关计划。

六、实例验证

	AOE ID	名称	X(km)	Y(km)	Z(km)	VX(km/s)	VY(km/s)	VZ(km/s)	交会距离(km)	相对速度(km/s)	夹角	CRI	CRP	风险等级
1	39416	APRIZESAT 7	-2539	2176.621	6086.736	6.24	-2.542	3.484	0.013	14.679	151.05	0.996	1.696E-03	极高风险
	66825	STARLINK-35476	-2539.003	2176.63	6086.745	-7.051	-1.043	-2.563						
2	36799	TISAT 1	-180.34	1239.924	6719.717	6.485	-3.928	0.895	0.093	10.428	86.16	0.964	1.177E-03	极高风险
	68784	STARLINK-37401	-180.284	1239.918	6719.643	4.449	6.121	-1.008						
3	44961	STARLINK-1080	-6328.797	-1978.825	-1166.576	2.405	-4.169	-6.007	0.093	11.302	94.46	0.965	1.193E-03	极高风险
	63664	STARLINK-11651	-6328.785	-1978.916	-1166.591	0.855	-5.72	5.08						
4	56397	STARLINK-6271	2994.425	-4952.46	3676.891	6.715	1.669	-3.21	0.108	7.615	59.88	0.953	1.033E-03	极高风险
	56706	STARLINK-30079	2994.425	-4952.555	3676.942	4.598	5.17	3.212						
5	55462	STARLINK-5673	-5207.644	2441.653	-3745.254	-0.986	-6.883	-3.117	0.297	8.72	69.82	0.873	4.100E-04	高风险
	59124	VSP ROSE	-5207.87	2441.845	-3745.25	4.215	-0.655	-6.311						
6	57621	STARLINK-30150	1815.999	-4987.211	-4351.508	6.236	3.938	-1.912	0.442	13.094	118.52	0.829	2.482E-04	高风险
	62645	FLOCK 4G 22	1815.607	-4987.085	-4351.67	0.436	-4.906	5.808						
7	58288	ICEYE-X31	-757.113	6544.779	-1842.293	1.244	-1.9	-7.289	0.421	14.719	149.17	0.843	2.925E-04	高风险
	61546	STARLINK-32445	-756.764	6544.987	-1842.184	-4.904	1.047	5.756						
8	54176	STARLINK-5154	5030.874	-2275.531	-4046.698	-0.409	6.408	-4.117	0.799	10.204	83.96	0.679	4.422E-05	中风险
	57666	STARLINK-30301	5030.526	-2274.942	-4046.286	5.082	3.925	4.117						
9	62658	TROLL	-394.26	4661.331	-5015.817	1.892	-5.328	-5.104	1.121	9.002	72.43	0.572	1.285E-05	中风险
	64481	STARLINK-34526	-393.842	4662.114	-5015.133	-6.452	-3.207	-2.476						
10	56192	ION SCV-010	333.286	5933.207	3421.948	0.915	-3.839	6.529	0.8	8.32	66.07	0.666	3.811E-05	中风险
	57614	STARLINK-30244	332.934	5932.715	3422.472	-6.542	-1.682	3.543						

数据来源：以上所有空间物体轨道状态数据来源于太空数据共享平台——太空地图 Space Mapper。选取物体的最近交会轨道状态数据作为输入，包括物体的 AOE ID、空间位置坐标（X、Y、Z）以及速度分量（VX、VY、VZ）等信息。在此基础上，利用本文提出的基于距离主导与速度修正思想的空间物体交会风险指数模型，对交会风险事件进行快速风险评估。模型输出包括交会风险指数（CRI）、空间交会风险概率（CRP）以及对应风险等级，实现对潜在高风险交会事件的初步筛查。

七、声明

标题：空间物体交会风险指数模型

版本号：2026-1

发布日期：2026 年 07 月

作者：廉清斌，李小波

版权声明：本模型版权归太空地图所有，未经书面授权，任何单位或个人不得以任何形式用于商业用途。

引用说明：如需引用本模型内容，请注明出处为“《空间物体交会风险指数模型》(2026-1)-太空地图（<https://spacemapper.cn>）”。

使用说明：本模型旨在为用户提供空间物体交会风险快速筛查能力，通过分析空间物体间距离与相对运动状态，实现潜在高风险交会事件的识别与评估，为后续高精度轨道误差分析和碰撞概率计算提供先验筛选与辅助支持。

联系方式：

电话：+86-010-57742838

邮箱：business@spacemapper.cn

地址：北京市经济技术开发区信创园 B5-18